



CARACTERIZAÇÃO DE MINERAIS, COMO FONTE DE POTÁSSIO PARA A AGROINDÚSTRIA.

Dias, L.R.L.¹; PAZ, G.M.²

Laila Raila Leal Dias¹

Programa de Pós Graduação em Engenharia de Materiais-PPGEM, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí (IFPI), 6400-040, Teresina/PI Brasil.

E-mail: lailaleal27@gmail.com

Gilvan Moreira da Paz²

Programa de Pós Graduação em Engenharia de Materiais-PPGEM, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí (IFPI), 6400-040, Teresina/PI Brasil.

E-mail: gilvan@ifpi.edu.br

RESUMO

O Brasil é um dos quatro maiores consumidores de fertilizantes agrícolas no mundo, porém importa aproximadamente 80% do total consumido. Devido a esta demanda surge o interesse de estudo pelo uso de fertilizantes organominerais. O objetivo desse foi realizar, em parceria com a empresa Kalfix Industria Comercio e Engenharia - LTDA, a caracterização, química e térmica de minerais *in natura* e calcinadas a diferentes temperaturas, da região de José de Freitas-PI, com potencial fonte de K₂O, visando sua aplicação na agroindústria. As amostras de adubo orgânico e da rocha rica em potássio foram submetidas aos ensaios de: Espectrometria por Fluorescência de raios X (FRX), Difração de Raios X (DRX), Espectroscopia por Infravermelho por transformada de Fourier (FTIR), Análise Termogravimétrica (TG e DTG) e Ensaios de disponibilidade de K₂O. O presente estudo demonstrou o significativo potencial desses materiais como fontes alternativas de potássio para a produção de fertilizantes organominerais.

Palavra-chave: Fertilizantes, Organominerais, Potássio, Agroindústria, Minerais.

1 INTRODUÇÃO

A agroindústria brasileira, com sua infraestrutura avançada e alta especialização, desempenha um papel essencial na transformação de matérias-primas agropecuárias em produtos de alto valor agregado, como fertilizantes, impulsionando o crescimento econômico e o desenvolvimento agrícola do país [2]. Entretanto, a qualidade dos solos brasileiros, frequentemente pobre em nutrientes essenciais, necessita da aplicação de fertilizantes para assegurar a produtividade das culturas. [15]

Os fertilizantes são responsáveis por fornecer os nutrientes essenciais às plantas, divididos em macronutrientes, como nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K), e micronutrientes, como ferro (Fe), zinco (Zn) e manganês (Mn). Esses nutrientes desempenham papéis cruciais no desenvolvimento vegetal, desde o crescimento das raízes até a resistência a doenças [11]. Dentre esses, o potássio se destaca por sua importância para o crescimento vegetativo e a regulação de processos fisiológicos fundamentais. [14].

No Brasil, a baixa disponibilidade de potássio em solos intemperizados e arenosos torna necessária a aplicação de fertilizantes potássicos, já que a extração contínua desse nutriente em sistemas agrícolas de alta produtividade pode levar à exaustão das reservas de potássio no solo, [9]. Assim, o manejo adequado da adubação potássica é essencial para manter a fertilidade do solo e garantir o desenvolvimento sustentável das lavouras. [7].

Nesse contexto, o uso de fontes alternativas de potássio, como minerais naturais, regulado pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento [2], surge como uma solução estratégica para promover a sustentabilidade na agroindústria brasileira. O estudo da caracterização de minerais potássicos representa uma área de pesquisa promissora, ao integrar conhecimentos multidisciplinares e oferecer soluções inovadoras para o aumento da produtividade agrícola.

Este trabalho tem como objetivo caracterizar os minerais presentes em amostras de fertilizantes, com foco na análise mineralógica, química e térmica de minerais que possam ser fontes potenciais de potássio para a agricultura. A

disponibilização do potássio será investigada por meio de técnicas de absorção atômica, visando identificar alternativas eficientes e sustentáveis para a adubação potássica.

2. Materiais e Métodos

2.1 materiais

A matéria prima utilizada nesta pesquisa foi uma argila denominada adubo organomineral, coletado no município de José de Freitas, que fica situada a uma distância de aproximadamente 54 km da capital Teresina-PI. Após a coleta a amostra foi encaminhada ao laboratório Multiusuário de Engenharia de Materiais vinculado ao Programa de Pós Graduação em Engenharia de Materiais- PPGEM do Instituto Federal do Piauí-IFPI, onde foi triturada e posteriormente peneirada em uma peneira 200 mesh para as devidas caracterizações.

Figura 1- Peneiramento do fertilizante organomineral



Fonte: Autor

2.2 Métodos

2.2.1 Calcinação e caracterizações do fertilizante organomineral

O fertilizante organomineral foi tratado termicamente em diferentes temperaturas (450°C, 550°C, 650°C, 750°C e 850°C) por 24 horas em forno tipo mufla em atmosfera de ar. Em seguida os materiais foram, caracterizados por: Fluorescência de Raios X (FRX), Difração de Raios X (DRX), Análise Termogravimétrica (TG e DTG), Espectroscopia no Infravermelho (FTIR) e Ensaio de disponibilidade de K_2O .

2.2.2 Fluorescências de raios X (FRX)

A identificação e quantificação dos elementos foi realizada no espectrofotômetro de fluorescência de raios X equipamento Panalytical, marca Epsilon 3 XL.

2.2.3 Difração de raios X (DRX)

O equipamento empregado foi o difratometro de raios X, marca Panalytical, modelo EMPYREAN. As condições de leitura do equipamento apresentavam tubo com radiação Cu ($\Delta=1,54056 \text{ \AA}$), tensão de 40kv, corrente de 30 mA. Com varredura de 2° a 80° para 2θ , com velocidade de 2°/min e passo de 0,02°/passo. A interpretação dos resultados foi obtida por meio do programa de computador X'Pert High Score Plus. 10°C/min.

2.2.4 Análises térmicas

Para a análise termogravimétrica do fertilizante organomineral foi utilizado o equipamento Termogravimétrico TGA-51 Shimadzu. A massa da amostra colocada no analisador 30 TGA-51, em uma atmosfera de nitrogênio e um fluxo de gás de 50 mL/min. A taxa de aquecimento foi de 10°C/min até uma temperatura de 1000°C.

2.2.5. Espectroscopia no infravermelho (FTIR)

A análise de infravermelho foi realizada na Universidade Federal do Piauí (UFPI). O equipamento utilizado foi da marca Perkin Elmer, modelo spectrum 100, resolução de 4 cm^{-1} , e janela de brometo de potássio (KBr).

2.2.6. Ensaio da disponibilidade de K_2O

O procedimento para determinação do K_2O foi realizado de acordo com a norma do MAPA, 2017 - Capitulo I, C, Item 8.2.4.2. A quantificação do potássio foi realizada por Espectrometria de Emissão de Chama (FES -Flame emission Spectrometry), com leitura na faixa de comprimento de onda correspondente ao potássio. A interpretação dos resultados foi feita por meio da comparação com faixas de referência de potássio disponível para solos agrícolas, expressando-se o resultado em mg/kg de solo.

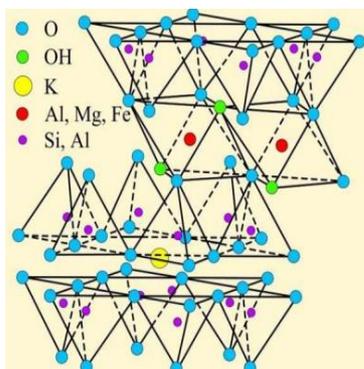
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Difração de Raios-X-DRX

Os resultados da difração de raios X (DRX) (Figura 2), confirmaram a presença de quartzo (SiO_2) e caulinita (Al_2O_3), em consonância com os dados obtidos por fluorescência de raios X (FRX) (Figura 1), que identificaram os óxidos de silício e alumínio. Além disso, foram detectadas muscovita, biotita e ilita, cujas estruturas cristalinas são apresentadas na Figura 3 e 4, revelando a composição mineral do fertilizante em diferentes faixas de temperatura. Observou-se que o tratamento térmico reduziu a intensidade dos picos característicos da argila. Esses minerais, comuns em solos ricos em silício e alumínio, exercem uma função significativa na retenção de potássio.

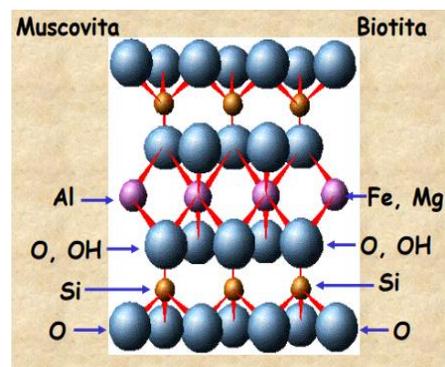
A biotita, um tipo de mica, está entre os minerais identificados. Além de serem frequentemente encontrados em diversos rejeitos, esses minerais apresentam vastas reservas, o que permite seu aproveitamento como uma fonte alternativa de potássio, com potencial uso como fertilizante [1], [11].

Figura 3 - Ilita



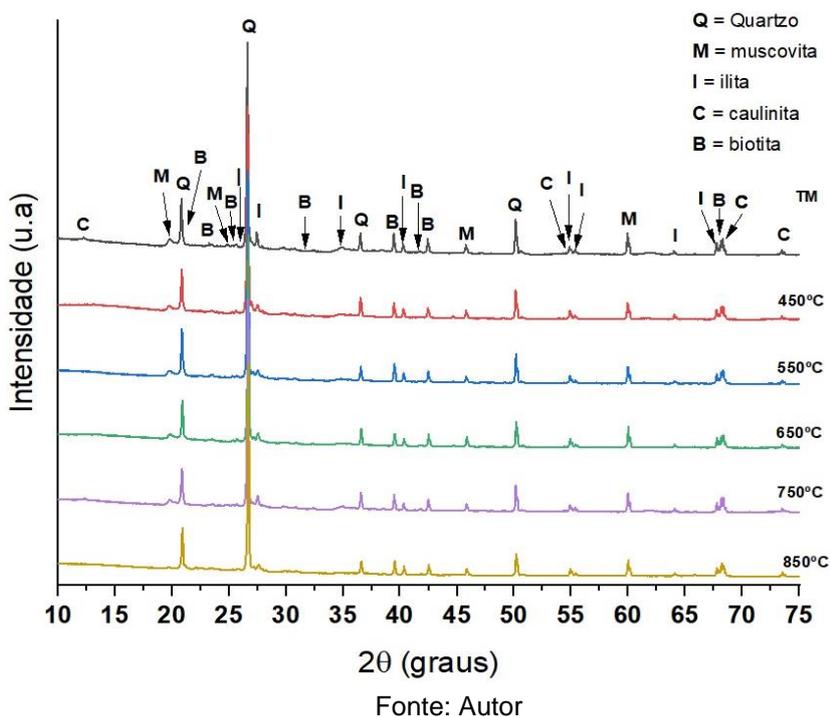
Fonte: Modified From Grim 1962

Figura 4 - Muscovita e biotita



Fonte: Prof. Marcelo Ricardo de Lima

Figura 2 - Análises da mineralogia da amostra



3.2. Fluorescências de raio X-FRX

A técnica de fluorescência de raios X (FRX) é um método não destrutivo que possibilita a análise tanto qualitativa quanto quantitativa dos elementos químicos presentes em uma amostra. Este procedimento permite identificar e quantificar com precisão os constituintes químicos, tornando-se uma ferramenta essencial para a caracterização de materiais. [5].

A Tabela 1, contém os resultados para a determinação da composição química do fertilizante organomineral por FRX. A análise química revelou que os compostos majoritários na amostra do adubo foram os de óxido de silício SiO_2 (70,7%), óxido de alumínio Al_2O_3 (17,9), óxido de ferro Fe_2O_3 (4,1), e óxido de potássio (3,1), perfazendo um total 95,8%. Outros óxidos somados foram encontrados em quantidades inferiores a 5%. O teor elevado de óxido de silício e alumínio são característicos de amostra rica em caulinita. Outrossim os elevados teores de alumina e sílica configura o potencial fertilizante como material de composição argilosa. O percentual de óxido de ferro correspondente a 4,1% que também é característico do material em estudo

Tabela 1. Composição química por FRX da matéria-prima (% em massa).

Óxidos	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	CaO	Fe ₂ O ₃	OUTROS
Teor (%) em massa	1,5	17,9	70,7	3,1	0,95	4,1	1,6%

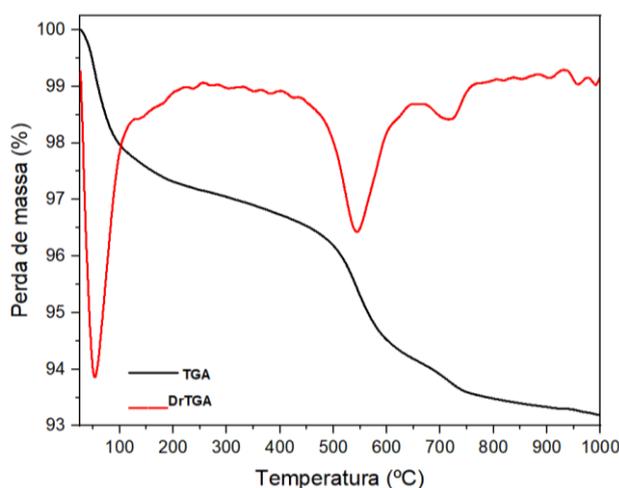
Fonte: Autor

3.3 Análises termogravimétricas TG e DTG

A análise termogravimétrica fornece informações a respeito dos eventos de perda de massa do material. Pelas informações das curvas de TG e DTG, foi possível observar três eventos na (Figura - 5). O primeiro evento corresponde à perda de água adsorvida, ocorrendo entre 25°C e 130°C. Essa fase é caracterizada pela liberação de água fisicamente adsorvida na superfície ou retida nos poros do material, removida em temperaturas relativamente baixas.

O segundo fenômeno, ocorrido entre 430°C e 650°C, corresponde ao fenômeno de desidratação e desidroxilação. Nesse intervalo, a perda de massa está associada à liberação de grupos hidroxila (OH) de minerais estruturais, como caulinita e illita. [3], [13]. Por fim, o último evento que ocorre entre 677°C e 754°C, envolve a decomposição de carbonatos ou a desidroxilação completa. Em temperaturas mais elevadas, o material pode passar por descarbonatação ou transformações de fases para uma forma mais estável. A perda de massa de 1,9% indica alta estabilidade térmica, com transformações limitadas.

Figura 5 - Apresenta o TG do fertilizante organomineral



Fonte: Autor

A DTG confirma os três eventos descritos acima. Os eventos de perda dos três tipos de minerais presentes na estrutura do adubo podem se relacionar com a porcentagem de massa perdida do material. Tais valores estão evidenciados no quadro abaixo.

Quadro 1- Eventos de perda de massas

Eventos	(I)	(II)	(III)
Faixa de Temp. (°C)	25 – 130 °C	430 – 650 °C	677 – 754 °C
Perda de massa (%)	2,3 %	2,7%	1,9 %

Fonte: Autor

Com base nas informações fornecidas, o material analisado demonstra alta estabilidade térmica, com perda de apenas 6,9% de massa até 1000°C, indicando robustez estrutural e resistência a transformações térmicas significativas. Apresenta eventos típicos de perda de água e desidroxilação, com mínima perda de massa, sugerindo baixa presença de componentes voláteis ou instáveis.

3.4. Espectroscopias por Infravermelho (FTIR)

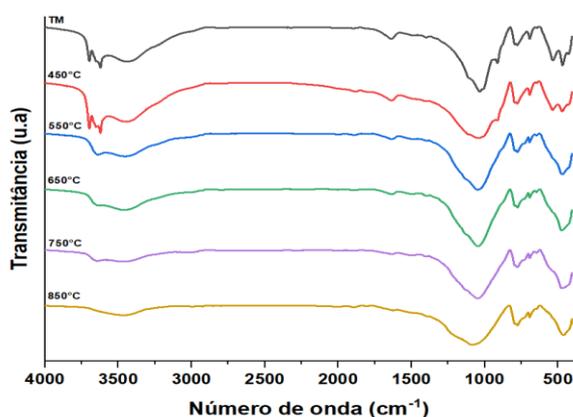
A técnica de espectroscopia na região do infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) foi empregada na identificação dos grupos característicos das amostras. Na (Figura-6) tem a presença de pequenos picos na banda de 3200 a 3500 cm^{-1} pode ser atribuída ao estiramento O-H (hidroxila) da estrutura da caulinita, comum em grupos hidroxila ou moléculas de água presentes no material. [8]. Esse estiramento ocorre devido às vibrações de ligação entre o oxigênio e o hidrogênio.

Observa-se ainda que na faixa de 1000 cm^{-1} , 700 cm^{-1} e 500 cm^{-1} , onde os estiramentos aparecem mais largos, pode-se observar a presença de vibrações relacionadas a ligações Si-O (silicatos) ou outras ligações associadas a compostos argilas e quartzo, compostos inorgânicos, compatíveis com argilominerais cauliníticos possivelmente presentes [10]. O alargamento dessas bandas sugere uma interação mais complexa ou uma sobreposição de picos devido à presença de múltiplas fases ou a heterogeneidade na amostra.

O pico observado em torno de 1000 cm^{-1} está frequentemente relacionado ao estiramento assimétrico Si-O-Si ou Si-O-Al, enquanto os picos mais baixos, em 700 cm^{-1} e 500 cm^{-1} , podem indicar vibrações de ligação associadas à estrutura cristalina dos silicatos ou óxidos metálicos presentes. Essas variações nos picos

podem sugerir alterações estruturais importantes ou interações químicas que devem ser investigadas, especialmente porque houve um tratamento térmico envolvido, que pode influenciar a estabilidade e a reatividade do material [4].

Figura 6 - Análises de espectroscopias por infravermelho (FTIR)



Fonte: Autor

3.5 Ensaios da disponibilidade de K_2O *in natura* e em diferentes temperaturas

O método Mehlich-1 é amplamente utilizado para determinar a disponibilidade de potássio no solo, sendo uma técnica relevante para avaliar o comportamento do K_2O sob diferentes condições térmicas [6]. De acordo com os resultados apresentados no Quadro 2, os teores de K_2O em amostras *in natura* e tratadas a temperaturas entre 450°C a 850°C, o método Mehlich-1 pode ser aplicado para analisar o teor de potássio disponível em cada uma dessas temperaturas. A variação nos teores de K_2O com o aumento da temperatura sugere que o aquecimento das amostras afeta a liberação do potássio no solo. Essa avaliação é importante para entender como o K_2O se comporta em diferentes formas e após tratamentos térmicos.

Quadro – 2 Teores % em massa da absorção atômica em diferentes temperaturas

Óxido	Teor (%) em massa natural	Teor (%) em massa 450°C	Teor (%) em massa 550°C	Teor (%) em massa 650°C	Teor (%) em massa 750°C	Teor (%) em massa 850°C
K ₂ O	2,05	2,0	1,90	1,90	1,94	1,99

Fonte: Autor

4. CONCLUSÃO

A partir da caracterização química e térmica foi possível observar o potencial desses materiais como fontes alternativas de potássio para a produção de fertilizantes organominerais. Novos estudos serão realizados para aumentar o teor de potássio nos materiais. Assim, o trabalho traz uma contribuição relevante para o campo da engenharia de materiais aplicados à agroindústria, oferecendo uma, possível, alternativa econômica e ambientalmente sustentável.

5. REFERÊNCIA

[1] AGUIAR, A.P.; HORN, A.H.; COSTA, A.S.V.; LEAL, J.M.; ALVES, G.P.P. **Estudo da viabilidade em solos agrícolas do uso da biotita-anfibolito/xisto contido nos rejeitos gerados pelos garimpos da província esmeraldífera de Nova Era – MG.** Geonomos, v. 20, n. 1, p.7 6-80, 2012.

[2] BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **[Registros de remineralizadores: indicadores da agricultura – fertilizantes]**. Brasília, DF: MAPA, 2022. Disponível em: <https://indicadores.agricultura.gov.br/fertilizantes/index.htm>. Acesso em: 19 junho 2023.

[3] BROWN, G. **The X-Ray Identification and Crystal Structures of Clay Minerals.** Editora Jarrols and Sons Ltd., 1ª edição, 1961.

[4] CHRISSANTHOPOULOS, A., BOUROPOULOS, N., YANNOPOULOS, S.N. **“Vibrational spectroscopic and computational studies of sol-gel derived CaO-MgO-SiO₂ binary and ternary bioactive glasses”**, Vibrational Spectroscopy, v. 48, pp. 118-125, 2008.

[5] DO NASCIMENTO-DIAS, B. L.; OLIVEIRA, D. F.; DOS ANJOS, M. J. **A utilização e a relevância multidisciplinar da fluorescência de raios X.** Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 39, n. 4, 2017.

[6] Dotaniya, CK, Lakaria, BL, Sharma, Y. *et al.* **Estimativa de potássio pelo extrator Mehlich-3 sob manejo integrado de nutrientes.** *Natl. Acad. Sci. Lett.* 46 , 387–390 (2023). <https://doi.org/10.1007/s40009-023-01282-3>

[7] FRANCISCO, E. A. B. **Antecipação da adubação da soja na cultura de Eleusine coracana (L.) Gaertn. em sistema de plantio direto.** 58 f. Dissertações

de Mestrado em Fitotecnia - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2020.

[8] FUKAMACHI, C. R. B. **Fertilizantes de liberação de nitrogênio por nitração de turfa e xisto e por intercalação de ureia em argilominerais do grupo do caulim.** Tese (Doutorado em Química) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

[9] HASHIMOTO, C. V.; TEIXEIRA, W. G.; ENCINAS, O. C.; TAVARES, S. R. De L. **Determinação dos fatores de retardamento e dispersão de potássio em Latossolo Amarelo de textura muito argilosa.** 2021.

[10] MÜLLER, C.M.; PEJICIC, B.; ESTEBAN, L.; PIANE, C. D.; RAVEN, M.; MIZAIKOFF, B. **Infrared Attenuated Total Reflectance Spectroscopy: An Innovative Strategy for Analyzing Mineral Components in Energy Relevant Systems.** Sci. Rep. V.4, p.6764, Oct., 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/srep06764>. Acesso em 20 de Junho de 2023.

[11] OLIVEIRA, S.F.; CUNHA, A.L.C.; MENDES V.A. **Contexto geológico e estrutural da formação Seridó, nas pedreiras do “preto matriz”, município de Currais Novos/RN– província Borborema.** Revista Brasileira de Mineração e Meio Ambiente, v. 3, n. 1, p.32-40, 2013.

[12] Thapa, Sushil, Ammar Bhandari, Rajan Ghimire, Qingwu Xue, Fanson Kidwaro, Shirin Ghatrehsamani, Bijesh Maharjan e Mark Goodwin. 2021. **"Gerenciando micronutrientes para melhorar a fertilidade do solo, a saúde e a produtividade da soja"** *Sustainability* 13, no. 21: 11766. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su132111766>. Acesso em 22 de Junho de 2023.

[13] TSENG, R.-L., TSENG, S.-K., WU, F.-C. **Preparation of high surface area carbons from Corncob with KOH etching plus CO₂ gasification for the adsorption of dyes and phenols from water.** Colloids Surfaces A Physicochemistry Engineering, v.297, 69–78, 2006.

[14] XU, Q.; FU, H.; ZHU, B.; HUSSAIN, H. A.; ZHANG, K.; TIAN, X.; DUAN, M.; XIE, X.; WANG, L. **Potassium Improves Drought Stress Tolerance in Plants by Affecting Root Morphology, Root Exudates, and Microbial Diversity.**

Metabolites, v. 11, n. 3, p. 131, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/metabo1103013>. Acesso em 25 de Junho de 2023.

[15] ZONTA, Everaldo; STAFANATO, Juliano Bahiense; PEREIRA, Marcos Gervasio. Fertilizantes minerais, orgânicos e organominerais. **Recomendações de calagem e adubação para abacaxi, acerola, banana, citros, mamão, mandioca, manga e maracujá**. Brasília: Embrapa, p. 263-303, 2021.

CHARACTERIZATION OF MINERALS, AS A SOURCE OF POTASSIUM FOR AGROINDUSTRY.

ABSTRACT

Brazil is one of the four largest consumers of agricultural fertilizers in the world, but imports approximately 80% of the total consumed. Due to this demand, interest in studying the use of organomineral fertilizers arises. The objective of this was to carry out, in partnership with the company Kalfix Industria Comercio e Engenharia - LTDA, the chemical and thermal characterization of minerals in natura and calcined at different temperatures, from the José de Freitas-PI region, with a potential source of K_2O , aiming its application in the agroindustry. Samples of organic fertilizer and potassium-rich rock were subjected to tests: X-ray Fluorescence Spectrometry (FRX), and DTG) and K_2O availability tests. The present study demonstrated the significant potential of these materials as alternative sources of potassium for the production of organomineral fertilizers.

Keyword: Fertilizers, Organominerals, Potassium, Agroindustry, Minerals.